

Tartu Ülikool  
Psühholoogia Insituut

Kerli Jõks

Motiveeritud ebasiira käitumise uurimine selle sõltuvuses transkraniaalse  
magnetstimulatsiooni ergastavast mõjust

Seminaritöö

Juhendajad: Talis Bachmann, PhD; Inga Karton, MSc

Läbiv pealkiri: TMS ja ebasiiras käitumine

Tartu 2014

## Kokkuvõte

Motiveeritud ebasiira käitumise uurimine selle sõltuvuses transkraniaalse magnetstimulatsiooni ergastavast mõjust

Käesoleva töö raames uuriti transkraniaalse magnetstimulatsiooni (TMS) mõju motiveeritud ebasiira käitumise tingimustes. Selle jaoks ergastatati TMS-i abil mõlema ajupoolkera dorsolateraalset prefrontaalset koort nii *sham* (tingimus, kus aju tegelikult ei mõjutata) kui ka TMS tingimustel, kusjuures katseisik mängis samal ajal arvutimängu, mille käigus ta võis vabalt valida kas ja kui palju ta valetab (edaspidi Ringide mäng). Valimisse kuulus 17 tervet paremakäelist inimest, kelle hulgas oli 4 meessoost ning 13 naissoost isikut vanuses 20 – 47. Andmete analüüsis kasutati 15 katseisiku andmeid.

Valetamise määras ei leitud märkimisväärsed erinevusi *sham* versus TMS tingimuse vahel, samuti puudus erinevus ajupoolkerade vahel. Vastamise kiiruse analüüsil selgus, et parema ajupoolkera puhul, nii *sham* kui TMS tingimustes, kasvab katseisikute valetamise vastamiskiirus võrreldes tõerääkimisega.

## Abstract

An exciting effect of transcranial magnetic stimulation on motivated deceptive behaviour

The current study investigates whether transcranial magnetic stimulation affects motivated deceptive behaviour. For that purpose dorsolateral prefrontal cortex was stimulated in *sham* (condition in which brain is not actually stimulated) and in TMS condition, while subjects played a computer game (Ringide mäng). In this game they could freely choose if and how much they lied.

The participants were seventeen healthy right-handed volunteers, 4 of them were male and 13 female, age 20 – 47. In data analysis results of 15 subjects were used.

There were no significant differences of the extent of deceptive behaviour in *sham* versus TMS condition. Also no significant differences were found comparing the brain's hemispheres. Analysis of the answering speed showed that in right hemisphere condition, both *sham* and TMS conditions, there was an increase of the answering speed of deceptive answers.

## Sissejuhatus

Käesolevas töös uuriti motiveeritud ebasiira käitumise sõltuvust aju dorsolateraalse prefrontaalse koore (DLPFC) transkraniaalse magnetstimulatsiooni (TMS) ergastavast mõjust. Katse käigus mängisid katseisikud arvutimängu (Ringide mäng), kus võisid ise otsustada, kas ja kui palju nad valetavad. Valetamine oli seejuures instruksioonikohaselt motiveeritud, kuna valetades oli võimalik rohkem punkte teenida. Mängus oli ka juhuslik kontroll, mis valetamise avastamisel katseisiku punktisummat vähemaks võtab.

TMS kujutab endast mitteinvasiivset aju stimuleerimise tehnikat. Stimulatsioon tekib lühiajalise ja kõrge intensiivsusega ajukoore suunatud magnetvälja loomisel, mis tuleneb omakorda lühiajalisest elektrivoolu-impulsist, mis läbib magnetpooli (Hallett 2007). TMS baseerub elektromagnetilise mõju põhimõttel, kus TMS-i pooli abil mõjutatakse kindlat ajupiirkonda. Sageli on TMS-il kasutusel 8-kujuline pool, kus elektrivool liigub käändude vahel vastassuunas ning koondub keskpunktis, kus vool summeerub. Pooli asetamisel peanahale luuakse magnetiline väli, mis toimib läbi pealuu ning tekitab selle all asuvas ajukoores elektrivälja. Selle tulemusena on võimalik stimuleerida neuraalet aktiivsust soovitud piirkonnas. Esimest korda kasutati tänapäevast TMS-i 1985. aastal Anthony Bakeri ja kolleegide poolt, et stimuleerida perifeerseid närve ja ajukudesid. TMS stimulatsiooni võib jagada korduvimpulssidena (rTMS) või üksikimpulssidena läbiviidud stimulatsiooni variantideks ning sageduse osas kõrge (nt 10 Hz) ja madala (nt 1 Hz) sagedusega variantideks. Stimulatsiooni parameetrite valik võimaldab määrata, kas stimulatsiooni efekt on ergastav (10 Hz) või pidurdav (1 Hz) (O'Shea & Walsh 2007). TMS on laialdaselt kasutatud aju füsioloogia uurimiseks, kuid seda kasutatakse ka kliinilistes uuringutes ja terapeutilistel eesmärkidel (Hallett 2007). TMS-i kasutatakse laialdaselt depressiooni ravimisel (George jt 2000; Chen jt 2013; Avery jt 2006), kus TMSiga ravitud patsiendid näitasid märkimisväärsed paranemismärke võrreldes *sham* grupi patsientidega. Lisaks sellele on uuritud TMS-i mõju skisofreenia patsientide ravimisel, kus madala sagedusega TMS stimulatsiooni rakendamine auditoorsel ajukoorel vähendas auditoorseid hallutsinatsioone ning vasaku prefrontaalse koore kõrge sagedusega mõjutamisel leevendusid patsientide psühhootilised sümptomid (Haraldsson 2004).

Imetajate aju eesmist pindmist poolt tähistatakse kui prefrontaalset koort. See ala on väga keeruline oma morfoloogialt ja anatoomialt ning tegeleb väga erinevate ülesannetega, seetõttu

on võimatu seda siduda ühe konkreetse funktsiooniga (Fuster 2008). Dorsolateraalsete prefrontaalsete koorele vastavad Brodmanni alad 9 ja 46 (Santarelli jt 2011). DLPFC piirkond on väga oluline inimese üldise intelligentsuse ja täidesaatvate funktsioonide puhul. Katseisikud, kellel esines DLPFC piirkonna kahjustus, said võrreldes tervete katseisikutega madalamaid skoori üldintelligentsuse ning täidesaatvate funktsioonide testides (Barbey, Colom, Grafman 2012).

TMS-i mõju DLPFC piirkonnale põhjustab verevarustuse muutusi ajus (Knoch jt 2006; Cho jt 2012; Kito, Hasegawa & Koga 2012), mõjutades sõltuvalt sellest lisaks kognitiivsetele ja täidesaatvatele funktsioonidele ka meeleolu (Knoch jt 2006). Samuti on uuritud DLPFC piirkonnale rakendatud rTMS mõju ka õppimisele, kus katseisikute õppimisvõime paranes märgatavalt peale vasaku ajupoolkera stimuleerimist (Cho jt 2012).

Käesolev töö keskendus eelkõige TMS-i mõjule DLPFC piirkonnale ja selle seostele ebasiira käitumisega. Ringide mängu eesmärk oli arvutimängu abil imiteerida situatsiooni, kus on võimalik ebasiiralt käituda. Üldteadaolevalt on petmine psühhofüsioloogiline protsess, mille käigus valetav indiviid üritab veenda teist inimest võtma tõena seda, mida valetaja teab väärt olevat. Tavaliselt on eesmärgiks kasu saamine või kaotuse vältimine (Abe, 2009). Valetamist võib defineerida ka kui tõe mitterääkimist (Verschuere, Schuhmann, Sack 2012) ning petmise näol on väga tõenäoliselt tegu väga mitmete kognitiivsete tegevuste kogumiga (Meek jt 2012). Tõendust DLPFC seotusest ebasiira käitumisega on leitud uuringutest, mille kohaselt DLPFC piirkond aktiveerus ebasiira käitumise täidesaatmisel (Ito jt 2010) ning olukorras, kus katseisikule anti käsk valetada (Sip jt 2010).

Antud töö seisukohast oluliste tulemustena on leitud, et käitumusliku eksperimendi käigus DLPFC piirkonna stimuleerimine TMS-iga mõjutas vaelevastuste andmist nii madalal (1 Hz) sagedusel (Bachmann & Karton 2011) kui ka kõrgel (10 Hz) sagedusel (Rinne 2013).

TMS-i peetakse neuropsühholoogias väga oluliseks uurimis- ja teraapiameetodiks. On leitud palju seoseid teatud ajupiirkondade aktivatsiooni ning kognitiivsete ülesannete lahendamise tulemuste vahel aju TMS-iga stimuleerimisel, kuid teisalt on raske vastavaid protsesse otseselt TMS-i stimulatsiooniga siduda, kuna TMS-iga mõjutamise korral võib mingi kindel piirkond aktiveeruda ja põhjustada ka muutusi käitumises, kuid mõnel teisel korral võib taoline efekt puududa (Robertson jt 2003).

Käesoleva töö eesmärk oli võrrelda TMS ja *sham* tingimustes saadud käitumuslikke tulemusi ning ajupoolkerade vahelisi erinevusi selles. Töö üheks hüpoteesiks on, et TMS-iga aju DLPFC piirkonda ergastades suureneb valemastuste arv parema ajupoolkera stimulatsiooni tingimustes. Hüpotees põhineb J. M. Rinne 2013. aasta magistritööl, kus parema ajupoolkera DLPFC piirkonna rTMS-iga ergastades esitasid katseisikud rohkem valemastuseid võrreldes sama piirkonna *sham* tingimustega. Teise hüpoteesina uuriti, kas aju vasaku poolkera DLPFC piirkonna TMS-iga ergastamisel ilmneb vastupidine efekt Bachmanni ja Kartoni 2011. aasta uurimuses saadud efektile, kus toimus mõlema ajupoolkera DLPFC piirkonna väsitamine.

Käesolevas uurimuses mõõdeti täiendavalt Ringide mängu puhul katseisikute vastamise kiirust stiimulitele vastamisel. TMS-i abil on võimalik reaktsiooniaega mõjutada (Foltys jt 2001; Schlagecken jt 2003), seetõttu võib eeldada, et antud uuringus esineb vastamise kiiruses erinevusi olenevalt sellest, kas tegemist on TMS-i või *sham* tingimusega. On teada, et ebasiiras käitumine on kognitiivselt palju vaevanõudmav tegevus kui tõerääkimine ning seetõttu suureneb valetamisel ka reaktsiooniaeg. Seda kinnitas ka Vrij ja Heaveni 1999. aasta uuring, kus valemastuste andmisel suurenes katseisikute reaktsiooniaeg. Ka Johnson jt 2003. aasta töös ilmnis, et võrreldes tõerääkimisega, on ebasiira käitumise puhul vastused varieeruvamad ning reaktsiooniaeg pikem. Eelnevalt nimetatud uuringutele tuginedes, on töö kolmandaks hüpoteesiks, et valemastuste vastamise kiirus on suurem kui tõerääkimise puhul.

### Meetod

Antud uuring viidi läbi suurema uurimustöö raames. Projektile, milleks on *Moraalset otsust sisaldavate kognitiivsete protsesside uurimine transkraniaalse magnetstimulatsiooni (TMS) ning elektrofüsioloogiliste (EEG) meetodite abil*, on antud Tartu Ülikooli inimuuringute eetika komitee luba. Antud katse oli jaotatud kaheks, millest ühes osas toimus dorsolateraalne prefrontaalkoore ergastamine ning teises väsitamine. Tasakaalustatud katseplaani oli koostatud ka TMS väsitavat mõju silmas pidades. Katseisikud olid samad, kuid käesolevas töös analüüsitakse TMS-i ergastava mõju tulemusi.

### Valim

Valim koosnes 17 tervest paremakäelisest katseisikust (KI), kelle hulgas oli 4 meessoost ning 13 naissoost isikut. Katseisikute vanus varieerus vahemikus 20 – 47 (keskmine vanus 25,4, SD = 7,65). Uurimisalused värvati Tartu ja Tallinna Ülikoolide tudengite nimekirjadest, varasemalt laboris katsetes käinud isikutest ning sotsiaalmeedia abil. Andmete analüüsist jäeti välja 2 katseisiku tulemused, kuna nende valetamise määr Ringide mängus oli sedavõrd väike,

et nende tulemusi ei saanud ülejäänud katseisikutega võrrelda. Enne katsete sooritamist allkirjastasid katseisikud nõusolekulehe ning töövõtulepingu; vastavalt tulemustele oli ühe katsekorra eest võimalik teenida 5-8 EUR-i.

Katses osalejate puhul oli oluline, et nad oleksid terved ja vastaksid ka muus osas TMS kasutamisele esitatud nõuetele. Seega ei olnud katses võimalik osaleda inimestel, kes kasutasid stimulaatorit, kuuldeaparaati, implantaati või ravipumpa, kellele oli paigaldatud kirurgilised klambrid. Samuti ei tohtinud olla esinenud ajuoperatsioone või –traumasid, tõsiseid kroonilisi haigushooge, atakke, halvatusi, kõrg- või madalvererõhutõbi, migreeni, epilepsiahooge või probleeme kuulmisega. Naiste puhul oli tähtis ka see, katseisik ei oleks lapseootel.

### ***Mõõtmisvahendid***

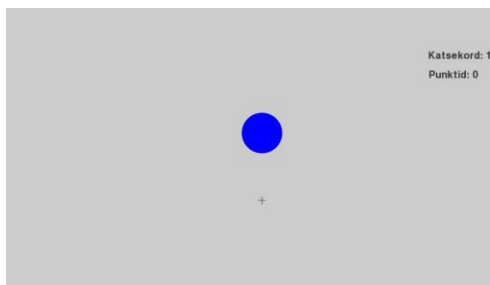
Ringide mängu tulemused salvestati katsearvutisse, kus iga uurimisealuse iga katsekorra tulemused olid eraldi kaustas. Tulemused sisaldasid andmeid katseisikute vastustest – kumba ringi nimetati vastust andes, vastamise kiirust ning punktide arvu. Igal katseisikul oli oma kood, mis koosnes kahest osast, millest esimene oli KI number ning teine pool tasakaalustatud katseplaani põhjal paika pandud konkreetne katsetingimus (ajupoolkera, TMS/*sham*, väsitamine/ergastamine).

TMS-i rakendamise andmed salvestati teise katsearvutisse, mis oli TMS-stimulaatoriga ühendatud. Teise katsearvutisse laeti üles iga katseisiku ajupilt. Programmis eXimia NBS 2.3.0 avati igal katsekorral vastava katseisiku ajupilt ning seadistati TMS-i sagedust (10 Hz) ning stimulatsiooni tugevust. Sessiooni käigus salvestas programm TMS-i parameetrid katseisikute kaustadesse. TMS stimulatsiooni võimalikult täpseks suunamiseks DLPFC piirkonda kasutati neuronavigatsioonisüsteemi NBS (Navigated Brain Stimulation, Nexstim Ltd.), mille abil oli võimalik kaheksakujulist TMS pooli koljul navigeerida vastavalt sellele, kuhu ajukoos TMS fookust suunata sooviti.

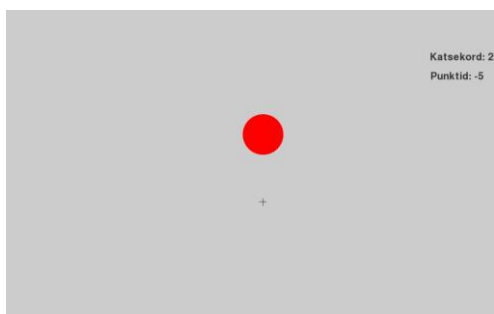
### ***Katse käik***

Enne põhikatsega alustamist viidi läbi pilootkatse. Kõigepealt mängisid pilootkatses osalenud isikud Ringide mängu, et oleks võimalik erinevad parameetrid paika panna ning selgitada välja katse ligikaudne ajaline kestvus. Pilootkatses osalenud katseisikud mängisid Ringide mängu TMS stimulatsioonita.

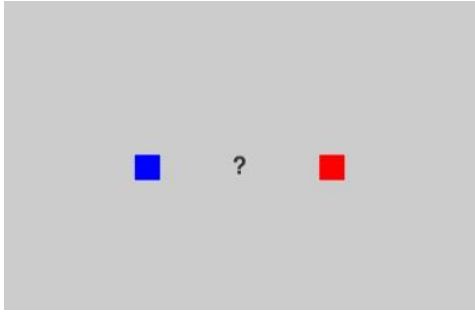
Ringide mängu käigus istus katseisik ekraanist umbes 1 m kaugusel, erinevused olid tingitud sellest, et tooli asend oli reguleeritav ning uurimisalune võis endale mängimiseks mugava istumisasendi valida. Katseisiku eesmärgiks oli klaviatuuril noolte abil vastata, kas ekraanile (SUN CM751U monitor (1024 x 768 pikslit), refresh rate 100 Hz) ilmus sinine või punane ring ( $r = 13 \text{ mm}$ ). Ringid esitati ekraanile 100 millisekundiks ning ringi esitamise ja vastamise vahel oli 400 millisekundit. Enne ringi esitamist näidati ka väikest fiktsatsiooniristi (1000 – 1500 ms), et katseisiku jaoks stiimuli esitamise ootust segada. Ringe esitati juhuslikus järjekorras mängu jooksul kokku 240, mis jagunesid punaste ja siniste ringide vahel täpselt pooleks (120 punast ja 120 sinist ringi). Vastates punane ring, sai katseisik juurde ühe punkti, sinise ringi vastamisel punkte ei saanud. Kuna mängu eesmärgiks oli võimalikult palju punkte koguda, võis sinise ringi ilmumisel vastata, et tegu on punase ringiga ning seeläbi punkte juurde teenida. Mängu kestel esinesid juhuslikud kontrollid. Kui kontroll tuvastas valevastuse, kaotas uurimisalune 5 punkti. Kontrollle oli mängus kokku 40, kus 20 korral kontrolliti sinisele ning 20 korral punasele ringile vastamist. Katseisikud nägid mängu vältel ekraani paremas ülemises nurgas oma punktisummat ning mitu ringi on ära esitatud.



**Joonis 1. Ringide mäng ja sinise ringi esitus**



**Joonis 2. Ringide mäng ja punase ringi esitus**



**Joonis 3. Vastuseaken**

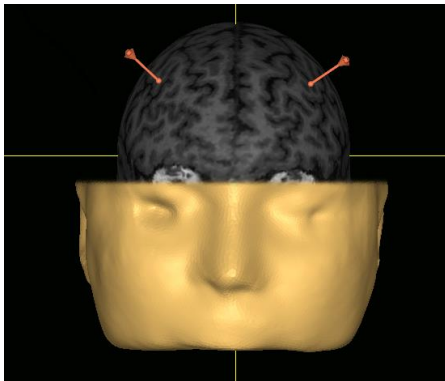
Enne igat eksperimenti registreeriti katseisiku pea koordinaadid NBS süsteemis, saamaks võimalikult täpselt TMS pooli kolju pinnal liigutades stimulatsioonifookust navigeerida ning stimulatsioon eelmärgitud DLPFC piirkonda suunata. Katse koosnes kahest osast ja kahest katsekorrast. Esimesel korral stimuleeriti aju üht poolkera kas A-B või B-A skeemi järgi: A – sham, B – TMS tingimus. Kahe katsetingimuse vahel oli 10-minutiline paus, et vältida mõju ülekandumist tingimuste vahel. Teisel korral stimuleeriti vastas-ajupoolkera. Katseplaan oli tingimuste osas (väsitamine - ergastamine, parem - vasak ajupoolkera, TMS – *sham*) tasakaalustatud.

Iga katseisik pidi laboris kokku käima viis korda. Enne katses osalemist allkirjastas iga katseisik nõusoleku lehe. Esimesel korral kulus laboris umbes 15 minutit, mille käigus laeti üles ajupilt ning määrati motoorne lävi. Motoorse läve (MT) määramiseks mõjutati TMS-iga primaarset motoorset ajukoort. Selle erinevad piirkonnad kutsuvad esile sõrmede, randme, käe, näo, kõhu ja jala musklite tõmblust, mis ühildub motoorse *homunculus*'e abil kaardistatud piirkondade jaotusega; käesolevas katses suunati stimulatsioon sõrmede piirkonda. Positsioneerides TMS pooli koljul on võimalik vastavate lihaste tõmblust edukalt esile kutsuda (O'Shea & Walsh 2007). Laboris kasutati tehnikat, kus määrati motoorne stimulatsioonilävi MT, st stimulatsiooni madalaim selline intensiivsus, mille puhul võis veel vaevumärgatavat sõrme tõmblemist näha. Katseisikute MT väärtused varieerusid vahemikus 23 – 43 % TMS aparadi maksimumvõimsusest. MT määramine oli vajalik, et tagada uurimiselaste ohutus ning neile võimalikult vähe ebamugavust valmistada ja ühtlasi tagada isikutevaheline võrreldavus sama funktsionaalse kriteeriumi alusel seatud individualiseeritud stimulatsioonitugevuse kaudu. MT määramine on üks kokkuleppeline viis, kuidas panna paika minimaalne TMS mõjutamistugevus, millele aju reageerib. On leitud, et DLPFC aktiveerub juba 40 % MT juures (Komssi & Kähkönen 2006). Peale ajupildi arvutisse laadimist märgiti ajupiltidel DLPFC alad programmis eXimia NBS 2.3.0. Alltoodud joonistel on toodud

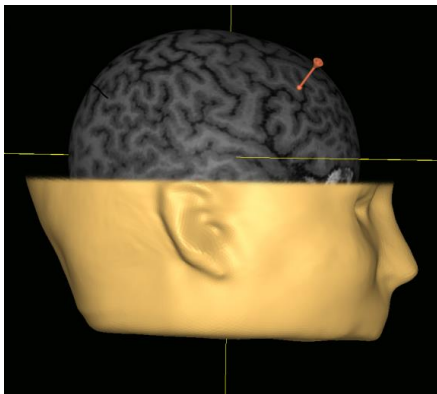


## TMS ja ebasiiras käitumine

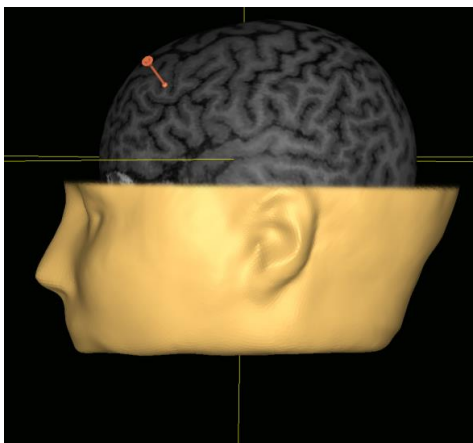
DLPFC sihtmärgid eestvaates (joonis 4), paremalt vaates (joonis 5) ning vasakult vaates (joonis 6)



**Joonis 4. DLPFC piirkonnad eestvaates ja TMS sihtmärgid**



**Joonis 5. Parema ajupoolkera DLPFC piirkond ja TMS sihtmärk**



**Joonis 6. Vasaku ajupoolkera DLPFC piirkond ja TMS sihtmärk**

Järgmised neli korda toimus vastavalt kas parema või vasaku ajupoolkera DLPFC piirkonna ergastamine või väsitamine. Enne katset said katseisikud mängu instruksiooniga (vt Lisad) tutvuda.

Katse kestis ligikaudu 1 tund ning koosnes kahest osast. Ühes osas mängis katseisik Ringide mängu TMS stimulatsiooni tingimustes ning teises osas *sham* tingimustes (kus stimulatsiooni ei olnud, kuid kõrvaklappidest lasti TMS stimulatsiooni salvestust). Nii TMS-i kui *sham*-i ajal lasti klappidesse valget müra, et varjata erinevust reaalse TMS stimulatsiooni heli ning salvestatud heli vahel. Tasakaalustatud katseplaani oli koostatud kõigi tingimuste (väsitamine/ergastamine, vasak/parem ajupoolkera, TMS/*sham* tingimus) põhjal.

Ringide mängu käigus esitati uurimiselusele punaseid ja siniseid ringe ning ta sai ise vabalt valida, kuidas ta neid nimetades vastab ning kas räägib tõtt või mitte. Mängimise ajal olid katseisikul kõrvas kõrvaklapid. Ringe oli mängus kokku 240 ning iga 5 ringi tagant stimuleeriti katseisiku DLPFC piirkonda rTMS-ga 10-Hz rezhiimis. *Sham* tingimuses tuli kõrvaklappidest TMS stimulatsiooni lindistus ning tegelikult aju ei stimuleeritud. Peale esimest Ringide mängu mängimist oli 10 minutiline vaheaeg, millele järgnes katse teine pool.

Iga katseisiku kohta koostati eraldi protokoll, kuhu kanti isiku nimi, vanus, käelisus, kuupäev, katseisiku kood, individuaalne katseplan (ajupoolkera, TMS/*sham*, stimulatsiooni tüüp). Iga katsekorra kohta pandi kirja katse alguse aeg, katse kestus ning TMS pooli temperatuur katse alguses ja lõpus; lisaks pandi kirja muud märkused (punktide arv, TMS pooli ülekuumenemine jne).

Lisaks sellele, viidi peale viimast katset tagasiside saamise eesmärgil uurimiselusega läbi intervjuu. Katseisikutega sõlmiti töövõtuleping, kus arvutati katses käimise eest kompensatsiooniks saadav summa, mis olenes Ringide mängus saavutatud punktisummast.

Katsed toimusid Tallinnas TÜ kognitiivse psühholoogia laboris.

### Tulemused

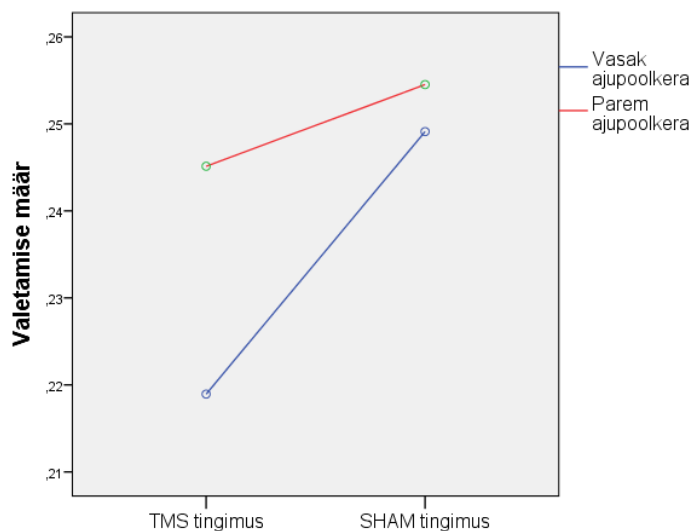
Andmete analüüs toimus tarkvaraprogrammide Microsoft Office Excel 2010 ja IBM SPSS Statistica 20 abil. Katsete käigus kogutud tulemustest moodustati Microsoft Office Exceli programmis fail, mis sisaldas katseisikute järjekorra numbrit, katsekorda, katsetingimust, katsekorduse numbrit, vastuse koodi, saadud punkte ning vastamise kiirust. Tulemuste korrastamiseks kasutati nominaalskaala põhimõtet, kus sõnalised väärtused kodeeriti numbrilisteks, mille alusel valemistulele vastas number 1 ning tõenäakimisele 0. Andmed korrastati Microsoft Excelis ning sisestati seejärel IBM SPSS Statistica 20 programmi. SPSS Statistica programmis tehti andmete analüüs, mis võimaldas kirjeldavate statistikut (näiteks aritmeetiline keskmine, Pearsoni  $r$ , variatiivsus) põhjal andmete kohta esmaseid statistilisi

järeldusi teha. Statistiliste järelduste tegemiseks katsefaktorite efektide ja seoste kohta rakendati andmete peal korduvmõõtmiste puhul kasutatavat ANOVAt (*general linear model – repeated measures ANOVA*, edaspidi GLM ANOVA) ning T-testi (*paired samples T-test*), võrdlemaks kahe andmerühma keskmisi tulemusi.

### **Valetamise määr**

Andmete analüüsis kasutati 15 katseisiku tulemusi. 2 katseisiku tulemused jäeti andmete analüüsist välja, kuna üks neist ei valetanud Ringide mängus kordagi ning teine valetas ainult mõnel üksikul korral ning neid tulemusi ei saanud teiste katseisikute tulemustega võrrelda. Andmete analüüsi põhjal selgus, et esimene hüpotees – DLPFC piirkonda TMS-iga ergastades suureneb valevastuste arv parema ajupoolkera tingimustes – kinnitust ei leidnud. Valetamise määras ei olnud märkimisväärt erinevust TMS versus *sham* tingimuse vahel ( $F(1,15) = 3.715$ ;  $p = 0.073$ ) ega ajupoolkerade vahel ( $F(1,15) = 1.935$ ;  $p = 0.184$ ). (Joonis 7. Valetamise määr).

Parema ajupoolkera puhul ei saadud T-testis olulist erinevust TMS ja *sham* tingimuse vahel ( $t = -0.902$ ;  $p = 0.381$ ). Ka vasaku ajupoolkera puhul T-testi põhjal TMS ja *sham* tingimuse vahel ei esinenud olulist erinevust ( $t = -1.722$ ;  $p = 0.106$ ). Märkimisväärt erinevusi ei tulnud välja ka ajupoolkerade võrdlusel, kus TMS-i puhul ( $t = -1.831$ ;  $p=0.87$ ) ning *sham* tingimusel  $t = -0.337$ ;  $p = 0.741$ .

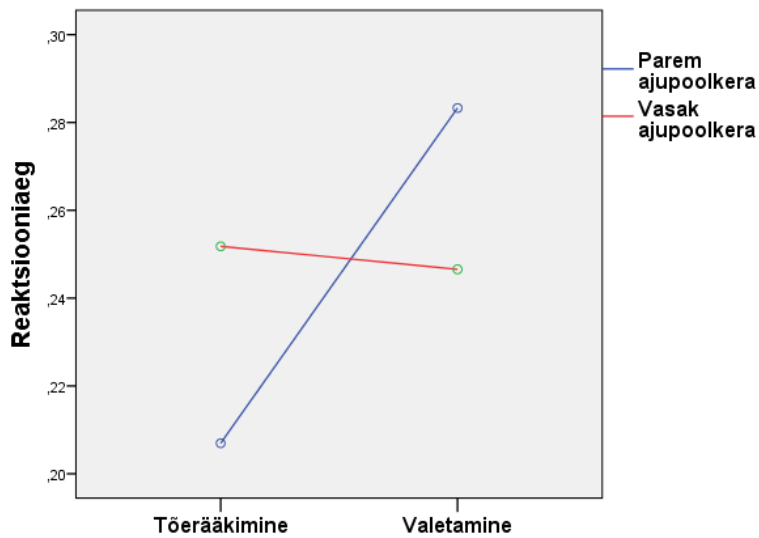


**Joonis 7. Valetamise määr**

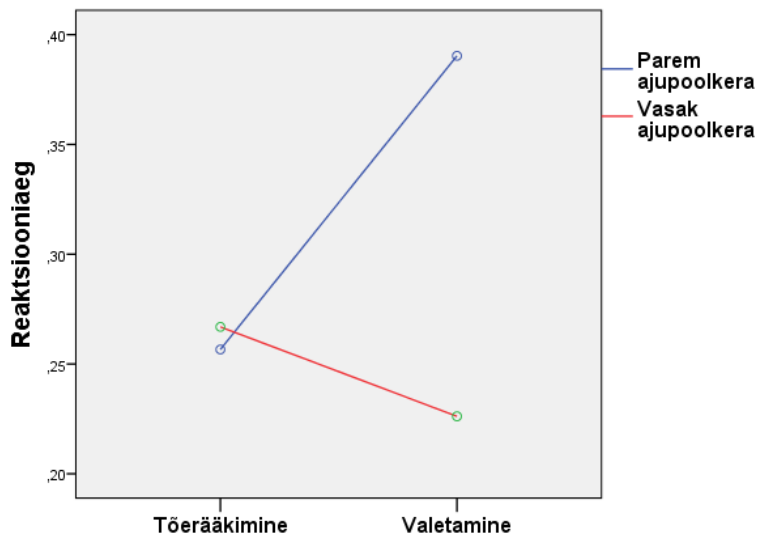
### ***Vastamise kiirus***

Lisaks valetamise määrale, uuriti TMS-i mõju tinglikule vastamise kiirusele ehk aega vastamise võimaldamisest vastuseni (AVVV). Vastamise kiiruse analüüsil selgus, et paljud tulemused olid võrdsed nulliga. Tulemused, kus vastamise kiirus oli 0 moodustasid 21 % kõikidest AVVV-dest kõigi tingimuste korral. Olukord, kus vastamise kiirus oli võrdne 0-ga tekkis juhul, kui katseisik vajutas klahvi enne vastuseakna ilmumist. Stiimuli esitamise ja vastamise võimaluse vaheliseks ajaks Ringide mängus oli 400 millisekundit. Need katseisikute AVVV-d, mis olid kiiremad kui 400 ms, registreeriti arvuti poolt võrdseks 0-ga. Eelnevat silmas pidades jäeti andmete analüüsist välja kõik need tulemused, kus arvuti ei jõudnud vastamise kiirust mõõtma hakata ning analüüsiti neid tulemusi, kus arvuti AVVV-d mõõtis (kõikide tulemuste ja tingimuste peale 79 % katseisikute vastustest). See on põhjendatud asjaoluga, et alla 400 ms reaktsiooniajad viitavad pigem ennetavale reageerimisele kui stiimule töötlusele järgneval otsustusprotsessil, kas valetada või mitte. Andmete analüüsis kasutati 15 katseisiku tulemusi nagu valetamise määra puhul.

GLM ANOVA test näitas märkimisväärset erinevust vastamise kiiruses TMS versus *sham* tingimuse vahel, kus  $F(1,14) = 5.944$ ;  $p = 0.029$ . Oluline interaktsioon ilmnas poolkera ja valetamise tingimuste vahel, kus  $F(1,14) = 6.695$ ;  $p = 0.021$  ning poolkera ja stimulatsioonirežiimi tingimuste vahel,  $F(1,14) = 8.135$ ;  $p = 0.013$  (Joonised 8 ja 9). Parem versus vasak tingimuste puhul olulisi erinevusi ei ilmnunud,  $F(1,14) = 0.504$ ;  $p = 0.489$ ; samuti puudus oluline vahe tõenäakimise ning vaelevastuste korral, kus  $F(1,14) = 1.719$ ;  $p = 0.211$ .



Joonis 8. Vastamise kiirus TMS tingimusel



Joonis 9. Vastamise kiirus sham tingimusel

T-testi tulemuste põhjal selgus, et statistiliselt olulised erinevused ilmneshid ainult parema ajupoolkera tingimuse puhul, kus valevastuste vastamiskiirus oli pikem kui tõenäikimisel nii TMS ( $t = 3.286$ ;  $p = 0.005$ ) kui sham ( $t = 2.599$ ;  $p = 0.021$ ) tingimusel. Lisaks sellele suurenesid parema ajupoolkera katsetingimustes tõenäikimise vastamiskiirused TMS tingimustes võrreldes sham'iga, kus  $t = 2.51$ ;  $p = 0.025$ . Vasaku ajupoolkera puhul statistiliselt olulisi erinevusi ei olnud.

### Arutelu ja järeldused

15 katseisiku andmete analüüsist selgus, et käesolevas töös püstitatud hüpotees, mille kohaselt parema ajupoolkera DLPFC ergastamisel TMS-iga kasvab valevastuste arv, kinnitust ei leidnud. Vasaku ajupoolkera puhul dorsolateraalset prefrontaalset koort seostatakse ebasiira käitumisega, näiteks Ito jt 2010. aasta artiklis leiti, et vastav piirkond on seotud valetamise täidesaatva funktsiooniga ning Sip jt 2010. aasta uuring näitas DLPFC piirkonna aktiveerumist, kui katseisikule anti käsk valetada. Töö esimene hüpotees põhines Rinne 2013. aasta magistritöö tulemustel, kus katseisikud kaldusid parema ajupoolkera DLPFC piirkonna TMS tingimustes võrreldes *sham* tingimustega rohkem valetama. Eelnevalt nimetatud magistritöö kinnitust leidnud hüpotees põhines omakorda Bachmanni ja Kartoni 2011. aasta artikli tulemustel, kus parema ajupoolkera väsitamisel esines rohkem tõeseid vastuseid võrreldes kontrollpiirkonnaga. Lisaks sellele toetus Rinne magistritöö eeldusele, et TMS-iga ergastamisel ja väsitamisel on vastupidine efekt. Käesolevas töös stimuleeriti lisaks paremale ajupoolkerale ka vasakut ajupoolkera. Bachmanni ja Kartoni artiklis esitasid katseisikud vasaku ajupoolkera väsitamisel vähem õigeid vastuseid, mille põhjal võis eeldada, et vasaku ajupoolkera ergastamisel esitavad uurimisalused rohkem õigeid vastuseid. Andmete analüüsis vasaku ajupoolkera puhul TMS ja *sham* tingimuste vahel olulist erinevust esile ei tulnud.

Kuigi uuringud näitavad, et TMS-il võib olla mõju kindlatele kognitiivsetele funktsioonidele, siis ei saa korrelatsioonide esinemisel TMS-i järgalt ja eranditult vastava käitumise esilekutsumisega siduda. TMS stimulatsiooni tagajärjel võib mõnes olukorras käitumine muutuda, kuid selline efekt ei pruugi järgmisel korral esineda (Robertson jt 2003). Kui Rinne 2013. aasta magistritöös ning Bachmanni ja Kartoni 2011. aasta artiklis ilmnes konkreetne seos DLPFC piirkonna TMS-iga stimuleerimise ja valetamise määra vahel, siis käesolevas töös sellist tendents kinnitust ei leitud. Samas on oluline silmas pidada, et eelpool mainitud uuringutes olid katseisikute ülesanded erinevad Ringide mängust, mistõttu võisid erineda ka vastamist reguleerivad kognitiivsed protsessid. Jooniselt 7 on näha, et vasaku poolkera stimuleerimisel ilmneb hüpoteesile vastav erinevus tõeste ja valede vastuste sageduses. Seega pole võimatu, et suurema katseisikute arvu korral eeldatav efekt esile tuleks.

Lisaks valetamise määrale analüüsiti antud uuringus ka vastamise kiirust. Foltys jt 2001 ning Schlaghecken jt 2003 leidsid oma uurimustes, kus mõjutasid aju motoorset koort TMS-iga, et TMS-iga on võimalik reaktsiooniga mõjutada. Kolmanda hüpoteesi kohaselt peaks valetamise puhul vastamise kiirus suurenema. Selline tendents küll ilmnes, kuid tuli esile ainult parema poolkera puhul nii *sham* kui TMS tingimustes, kus mõlemal juhul katseisikute

vastamise kiirus valetamisel oli suurem kui tõenäikimisel. Seega TMS spetsiifilist mõju ei olnud. Vasaku ajupoolkera puhul ei olnud valetamise vastamise kiirusel võrreldes tõenäikimisega suuri erinevusi. Hüpotees tugines Meek jt 2013. aasta artiklile, kus viidatakse erinevatele uuringutele (Osman jt 2009, Seymour jt 200; Vandemia jt 2005; Walczyck jt 2003), mis väidavad, et valevastuse andmisel on reaktsiooniaeg pikem kui tõenäikimisel. Ka Vrij ja Heaveni 1999. aasta artikli põhjal on alust arvata, et kuna valetamine on kognitiivses mõttes keerulisem ülesanne kui tõenäikimine, toob see kaasa reaktsioonaja pikenemise. Võrreldes tõeste vastustega, on valevastuste reaktsiooniaeg pikem ning vastused varieeruvad rohkem (Johnson jt 2013). Ka Ringide mängus püüti imiteerida reaalses elus ette tulevat ebasiirast käitumist. Teise inimese asemel oli antud mängus arvuti, petmise väljundiks oli võimalus vastata siniste ringide asemel, et tegu on punaste ringidega. Petmine oli Ringide mängu puhul kasulik, kuna valetades oli võimalik teenida rohkem punkte. Liiga suurt valetamise hulka limiteeris juhuslike kontrollide esinemine, mille tagajärjel kaotas katseisik punkte. Ühtlasi aga on seetõttu võimalik, et katseisik kontrollib teadlikult rohkem oma käitumist ning spontaanne kalduvus valetada või mitte ei avaldu sel määral nagu mõnes erinevas olukorras ja sellele vastavas eksperimendis. Seda, et hüpotees paika ei pidanud, võis mõjutada ka inimeste iseloom ning harjumused, näiteks kui tihti katseisik oma tavaelus valetab (Johnson jt 2003).

Vastamise kiiruse tulemuste analüüsil selgus asjaolu, et osad katseisikud reageerisid Ringide mängus enne, kui arvuti jõudis vastamise kiirust lugema hakata. Katsearvuti hakkas AVVV-d registreerima 400 ms peale stiimulit. Vastamise kiirus registreeriti 0-ks juhul, kui katseisik vastas enne vastuseakna ilmumist. Seetõttu jäeti tulemused, mis olid registreeritud 0-ks, andmete analüüsist välja. Tulemused, kus AVVV = 0, moodustasid 21 % katseisikute tulemustest kõikide tingimuste kokkuvõttes. Seega jäid andmete analüüsist välja kiirete vastajate AVVV-d ehk skaala alumise otsa variatiivsus. Need 21 % vastamiskiiruse tulemustest, mis kaduma läksid, võisid lisaks ennetavatele ja seega ülesande täitmise seisukohalt ebasobivatele vastamistele olla põhjustatud ka tõigast, et stiimuli esitamise ja vastamisakna ilmumise vahel olev aeg oli liiga pikk. Pilootkatse käigus vähendati stiimuli esinemise ja vastamise vahel olevat aega, kuid selgus, et sellest ei piisanud. Kuna andmete analüüsis kajastati vaid 79 % kõikidest AVVV-dest, ei ole need tulemused täiesti usaldusväärsed. Kiiremate reageerijate vastamiskiiruste puudumine, võib tulemust mõjutada.

Antud katse puhul võis katseisikuid mõjutada ka see, et Ringide mängu mängiti väga mitmel korral ning summa 5-8 EURi katsekorra eest ei motiveerinud neid piisavalt suuremat

punktisummat saavutama. Kuna mäng oli üsna pikk ning üksluine, tunnistasid mitmed katseisikud, et viimastel katsekordadel puudus neil motivatsioon. Samas ei saaks Ringide mängu puhul rääkida õppimise efektist, kuna mängu käigus esinevad kontrollid olid juhuslikud. Mängimise vilumus võis küll tekkida, kuid kontrollile vahele jäämist täielikult vältida oleks olnud väga raske. Uurimisalused kirjeldasid erinevaid strateegiaid, millest levinuim oli püüd vältida valetamist, kui mängu jooksul pole kontrolli pikka aega esinenud. Just see asjaolu võib olla peamine põhjus, miks antud töö tulemused eelpool refereeritud TMS/valetamise uurimuste tulemustest erinesid ja valetamise määra hüpoteesidele kinnitust ei leidnud. Samas annab käesolev töö kasulikku teavet Ringide mängu kui uue meetodi edaspidise täiustamise ja arendamise tarbeks. Kuna katsearvutisse salvestati katseisikute mängu tulemusi ka punktide osas, siis oli võimalik vaadelda iga uurimisaluse punktide summat laboris käidud kordade lõikes. Siinjuures ei leitud õppimise efekti, sest olukorda, kus katseisik oleks iga katsekorraga aina rohkem punkte teeninud, ei tekkinud.

Katse käigus rakendati olenevalt katseplaanist erinevatel katsekordadel TMS stimulatsiooni (10 Hz) või siis oli tegu *sham* tingimusega, kus katseisiku aju ei stimuleeritud, kuid TMS pooli hoiti DLPFC piirkonnas ning kõrvaklappidest tuli TMS-i stimulatsiooni imiteerivat heli. TMSi näol on tegu mitteinvasiivse ja suhteliselt valutu ajukoore aktiveerimise meetodiga (Barker jt 1985; Pascual-Leone, Bartres-Faz, Keenan 1999). Ringide mängu katsetes osalenud inimesed kirjeldasid TMS stimulatsiooni alates kergest „kõdi“ tundest kuni mõõdukalt valusa tundeni. Uurimisaluste TMS stimulatsiooni tugevus varieerus vahemikus 23 – 43 % TMS aparadi maksimaalsest võimsusest. Osad uurimisalused tegid TMS ja *sham* tingimusel vahet, sest vahe stimuleerimise ja mitte stimuleerimise puhul oli tuntav. *Sham* tingimust oleks võinud teisiti lahendada nagu näiteks Rinne 2013. aasta töös, kus TMSi pool on pööratud 90° oma telje suhtes ehk magnetväli on suunatud peast eemale. Sel juhul oleks plöksatused TMS-ile sarnasemalt kõlanud, kuid Ringide mängu katse korral oleks katseisik ilmselt tajunud, et pool on võrreldes TMS tingimusega teisiti asetatud. Kolmas variant on *sham* tingimuse asemel kasutada kontrollpiirkonda nagu Bachmanni ja Kartoni 2011. aasta töös. Kontrollpiirkond peaks sel juhul asuma uuritavale piirkonnale üsna lähedal, et katseisik asukohal suurt erinevust ei tee. Samuti võib ilmned olukord, kus kontrollpiirkonna mõjutamine toob kaasa muutusi mõne teise kognitiivse funktsiooni varieeruvuses.

Käesoleva töö eesmärk oli uurida, kuidas TMS-i kõrgesageduslik (10 Hz) stimulatsioon erinevate ajupoolkerade DLPFC piirkonna funktsioone mõjutab. Töö esimene hüpotees – parema ajupoolkera DLPFC piirkonna TMS-iga mõjutamisel kasvab valevastuste arv –



kinnitust ei leidnud. Teine hüpotees, mille kohaselt vasaku ajupoolkera DLPFC piirkonna stimuleerimisel TMS-iga esitavad katseisikud rohkem õigeid vastuseid, ei leidnud samuti kinnitust. Kuna tulemus ei lähe kokku teiste sarnaste uuringutega, saab muuhulgas järeldada, et hoolimata TMSi tähtsusest neuropsühholoogias, on sellel ka puudusi. TMSi stimulatsioon ei pruugi alati konkreetse piirkonna stimuleerimisel sarnast käitumist kaasa tuua (Robertson jt 2003). Vastamise kiiruse analüüsil leiti, et valetamise vastamiskiirus pikeneb ainult parema ajupoolkera tingimustes, seega ei leidnud kinnitust ka uurimuse kolmas hüpotees.

### Kasutatud kirjandus

Abe, N. (2009) The neurobiology of deception: evidence from neuroimaging and loss-of-function studies. *Current Opinion Neurology* Vol. 22, lk. 594 – 600.

Avery, D. H.; Holtzheimer, P. E.; Fawaz, W.; Russo, J.; Neumaier, J.; Dunner, D. L.; Haynor, D. R.; Claypoole, K. H.; Wajdik, C.; Roy-Byrne. (2006) *Biological Psychiatry* Vol. 59, nr. 2, lk. 187 – 194.

Barbey, A. K.; Colom, R.; Grafman, J. (2012) Dorsolateral prefrontal contributions to human intelligence. *Neuropsychologia* Vol. 51, lk. 1361 – 1369.

Barker, A. T.; Jalinous, R.; Freeston, I. L. (1985) Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex. *Lancet* Vol. 1, lk. 1106 – 1107.

Chen, J.; Zhou, C.; Wu, B.; Wang, Y.; Li, Q.; Wei, Y.; Yang, D.; Mu, J.; Zhu, D.; Zou, D.; Xie, P. (2013) Left versus right repetitive transcranial magnetic stimulation in treating major depression: A meta-analysis of randomised controlled trials. *Psychiatry Research* Vol. 210, nr. 3, lk. 1260 – 1264.

Cho, S. S.; Yoon E. J.; Lee, J-M; Sang, E. K. (2012) Repetative Transcranial Magnetic Stimulation of the Left Dorsolateral Prefrontal Cortex Improves Probabilistic Category Learning. *Brain Topography* Vol. 25, lk. 443 – 449.

Cho, S. S.; Pellecchia, G.; Ko, J. H.; Ray, N.; Obeso, I.; Houle, S.; Strafella, A. P. (2012) Effect of continuous theta burst stimulation of the right dorsolateral prefrontal cortex on cerebral blood flow changes during decision making. *Brain Stimulation* Vol. 5, nr. 2, lk. 116 – 123.

Foltys, H.; Sparing R.; Boroojerdi B.; Krings, T.; Meister, G. I.; Mottaghy, F. M.; Töpper, R. (2001) Motor control in simple bimanual movements: a transcranial magnetic stimulation and reaction time study. *Clinical Neurophysiology* Vol. 112, lk. 265 – 274.

Fuster, J. M. (2008, Fourth Edition) Introduction. *The Prefrontal Cortex*, London UK: Elsevier Ltd.

George, M. S.; Nahas, Z.; Molloy, M.; Speer, A. M.; Oliver, N. C.; Li, X-B; Arana, G. W.; Risch S. C.; Ballenger, J. C. (2000) A controlled trial of daily left prefrontal cortex TMS for treating depression. *Biological Psychiatry*, Vol. 48, nr. 10, lk. 962 – 970.

Hallett, M. (2007) Transcranial Magnetic Stimulation: A Primer. *Neuron* Vol. 55, nr. 7, lk. 187 – 199.

Haraldsson, H. M.; Ferrarelli F.; Kalin, N. H.; Tononi, G. (2004) Transcranial Magnetic Stimulation in the investigation and treatment of schizophrenia: a review. *Schizophrenia Research*, Vol. 71 nr. 1, lk. 1 - 16.

Ito, A.; Abe, N.; Fujii, T.; Ueno, A.; Koseki, Y.; Hashimoto, R.; Mugikura, S.; Takahashi, S.; Mori, E. (2010) The role of the dorsolateral prefrontal cortex in deception when remembering neutral and emotional events. *Neuroscience Research* Vol. 69, lk. 121 – 128.

Johnson, R.; Barnhardt, J.; Zhu, J. (2003) The deceptive response: effects of response conflict and strategic monitoring on the late positive component and episodic memory-related brain activity. *Biological Psychology* Vol. 64, lk. 217 – 253.

Karton, I.; Bachmann T. (2011) Effect of prefrontal transcranial magnetic stimulation on spontaneous truth-telling. *Behavioural Brain Research*. Vol. 225, nr. 1, lk. 209–214.

Kito, S.; Hasegawa, T.; Koga, Y. (2012) Cerebral blood flow ratio of the dorsolateral prefrontal cortex to the ventromedial prefrontal cortex as a potential predictor of treatment response to transcranial magnetic stimulation. *Brain Stimulation* Vol. 5, nr. 4, lk. 547 – 553.

Knoch, D.; Treyer, V.; Regard, M.; Müri, R.M.; Buck, A.; Weber, B. (2006) Lateralized and frequency-dependent effects of prefrontal rTMS on regional cerebral blood flow. *NeuroImage*. Vol. 31, lk. 641 – 648.

Komssi, S.; Kähkönen, S. (2006) The novelty value of the combined use of electroencephalography and transcranial magnetic stimulation for neuroscience research. *Brain Research Reviews* Vol. 52, nr. 1, lk. 183 – 192.

Meek, S. W.; Phillips, M. C.; Boswell, C. P.; Vendemia, J. M. C. (2012) Deception and the misinformation effect: An event-related potential study. *International Journal of Physiology* Vol. 87, lk. 81 – 87.

O'Shea, J; Walsh, V. (2007) Transcranial Magnetic Stimulation. *Current Biology* Vol. 17, nr. 6, lk. 196 – 199.

Pascual-Leone, A.; Bartres-Faz, D.; Keenan, J. P. (1999) Transcranial magnetic stimulation: studying the brain-behaviour relationship by induction of 'virtual lesions'. *The Royal Society* Vol. 354, lk. 1229 – 1238.

Rinne, J. M. (2013) Tajuhinnangute tõele vastavuse sõltuvus aju otsmikusagara stimulatsioonist (magistritöö)

Robertson, E.M.; Théoret, H.; Pascual-Leone, A. (2003) Studies in Cognition: The Problems Solved and Created by Transcranial Magnetic Stimulation. *Journal of Cognitive Neuroscience*. Vol. 15, nr. 7, lk. 948-960.

Santarelli, D. M.; Beveridge N. J.; Tooney, P. A.; Cairns, M. J. (2011) Upregulation of Dicer and MicroRNA Expression in the Dorsolateral Prefrontal Cortex Brodmann Area 46 in Schizophrenia. *Biological Psychiatry* Vol. 69, nr. 2, lk. 180 – 187.

Schlaghecken, F.; Münchau, A.; Bloem, B. R.; Rothwell, J.; Eimer, J. (2003) Slow frequency repetitive transcranial magnetic stimulation affects reaction times, but not priming effects, in a masked prime task. *Clinical Neuropsychology*, Vol. 114, nr. 7, lk. 1272 – 1277.

Sip, K.E.; Lynge, M.; Wallentin, M.; McGregor, W.B.; Frith, C.D.; Roepstorff, A. (2010) The production and detection of deception in an interactive game. *Neuropsychologia*. Vol.48, nr. 12, lk. 3619-3626.

Verschuere, B.; Schuhmann, T.; Sack, A. T. (2012) Does the inferior frontal sulcus play a functional role in deception? A neuronavigated theta-burst transcranial magnetic stimulation study. *Frontiers in Human Neuroscience* Vol. 6, nr. 10, lk. 1 – 7.

Vrij, A.; Heaven, S. (1999) Vocal and verbal indicators of deception as a function of lie complexity. *Psychology, Crime & Law* Vol. 5, lk. 203 -215.

## Lisad

Lisa 1. Ringide mängu instruksioon KI-le:

1. Katse koosneb ringide mängu mängimisest ning sinu ülesandeks on koguda võimalikult palju punkte ja arvutit võita. Mängus tulevad suvalises järjekorras punased ja sinised ringid, kokku on neid 240 . Sinu ülesandeks on klahvidega vastata kumba värvi ringiga tegu on. ← klahv tähistab punast ja → klahv tähistab sinist ringi. Kui vastad, et tegu on punase ringiga, siis on sul võimalik saada punkte ja kui vastad, et tegu on sinise ringiga, siis sa punkte ei saa. Punktide kogumiseks on sul võimalus valetada ning vastata sinise ringi ilmumisel, et tegu on punase ringiga. Sa võid ise valida, millal sa soovid valetada ja kas sa soovid valetada. Mängu keskel esinevad aga juhuslikud kontrollid. Kui kontroll tuleb ja sa oled valetanud, siis võetakse sinu kogutud punktisummast 5 punkti maha. Sinu eesmärgiks on arvutit võita ning seda saad teha võimalikult suure punktisumma kogudes.

-----

Käesolevaga kinnitan, et olen korrektselt viidanud kõigile oma töös kasutatud teiste autorite poolt loodud kirjalikele töödele, lausetele, mõtetele, ideedele või andmetele.

Olen nõus oma töö avaldamisega Tartu Ülikooli digitaalarhiivis DSpace.

Kerli Jõks

-----